

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донбаська державна машинобудівна академія

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи

«ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ НА ЕОМ»

з дисципліни

"АВТОМАТИЗАЦІЯ КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОГО ВИРОБНИЦТВА"

(для студентів спеціальності 7. 090206)

Затверджено на засіданні кафедри
«Машини і технологія обробки металів
тиском»

Протокол № 17 від 21 червня 2001 р.

Краматорськ ДДМА 2001

УДК 621.73.043

Методичні вказівки до самостійної роботи «**Визначення стійкості автоматичних систем на ЕОМ**» з дисципліни "**Автоматизація ковальсько-пресового виробництва**" (для студентів спеціальності 7. 090206)
/Укл. : **В.Є. Устінов - Краматорськ: ДДМА,2001. 36 с.**

Містяться завдання для студентів з теми "Стійкість автоматичних систем" і приклади виконання самостійної роботи з визначення стійкості системи на основі критерію Михайлова і висновку з нього з використанням ЕОМ.

Укладач : Володимир Єгорович Устінов, ст. викл.

Відп. за випуск Лев Леонідович Роганов, проф., д.т.н.

ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
1 Завдання 1.....	11
2 Завдання 2.....	16
3 Завдання 3.....	21
Додаток А.....	27
Додаток Б.....	30
Додаток В.....	32
Список рекомендованої літератури	35

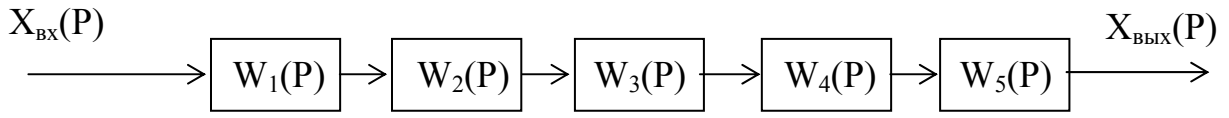
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Основна ціль даних методичних указівок - здобуття студентами практичних навичок розв'язування задач по визначенню усталеності автоматичних систем, вибору оптимальних параметрів елементів систем, закріплення теоретичних знань з розділу "Аналіз і синтез автоматичних систем, а також використання ЕОМ при розрахунках у курсовому і дипломному проектуванні". Наведені приклади розв'язання задачі по визначенню стійкості автоматичних систем на основі критерію Михайлова і висновку з нього з використанням ЕОМ. Варіанти завдань зведені в таблиці 1÷5, структурні схеми систем приведені на рисунку 1. Число варіантів відповідає кількості студентів у навчальній групі.

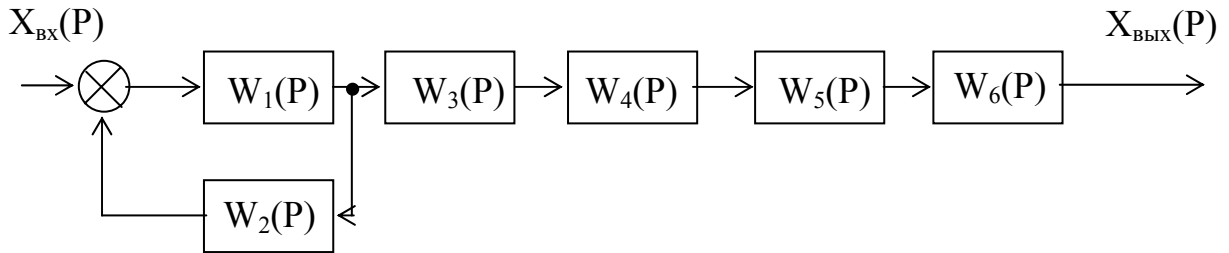
Шлях розв'язування задачі такий: визначається передатна функція розімкнутої системи за заданою структурною схемою, передатна функція замкнутої системи, приймаючи передатну функцію негативного зворотного зв'язку рівну одиниці, $W_{oc} = 1$; визначається характеристичний поліном, що приводиться до частотного виду, визначаються речовинна і мнима частини полінома, будуються криві відповідно до висновку критерію Михайлова і годографу Михайлова, за якими визначають стійкість системи.

Якщо ж система хитлива, змінюють параметри системи до одержання стійкого стану.

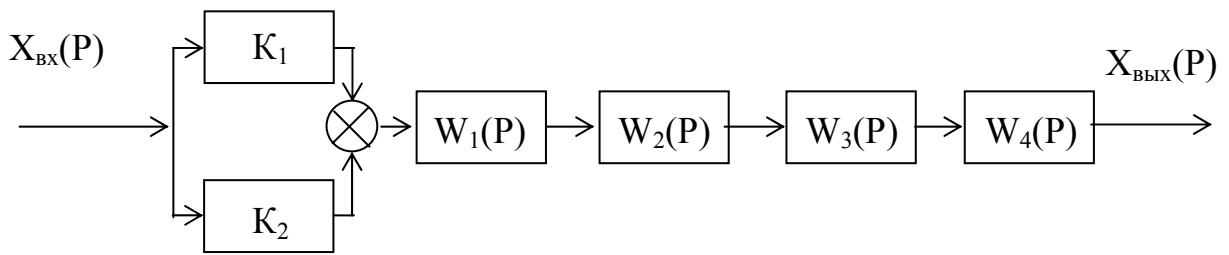
УВАГА ! Правила техніки безпеки забороняють студентам включати або виключати які-небудь пристрої, розкривати устаткування, знімати захисні щити, а також доторкатися до струмопровідних частин пристроїв. Після виконання роботи студент зобов'язаний привести робоче місце в порядок.



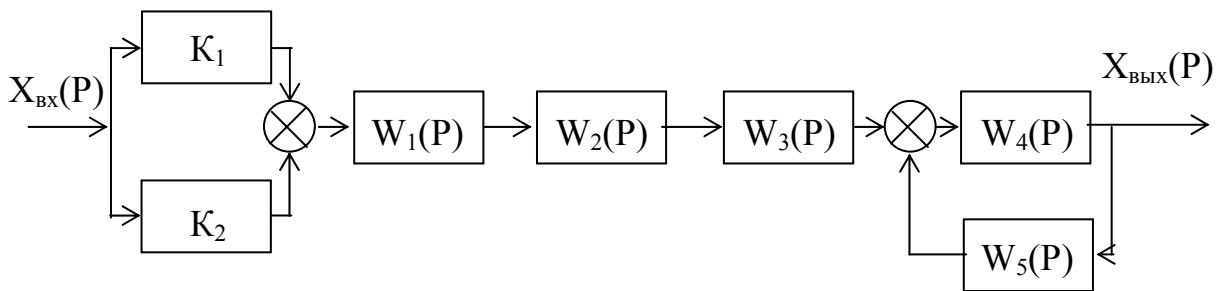
а



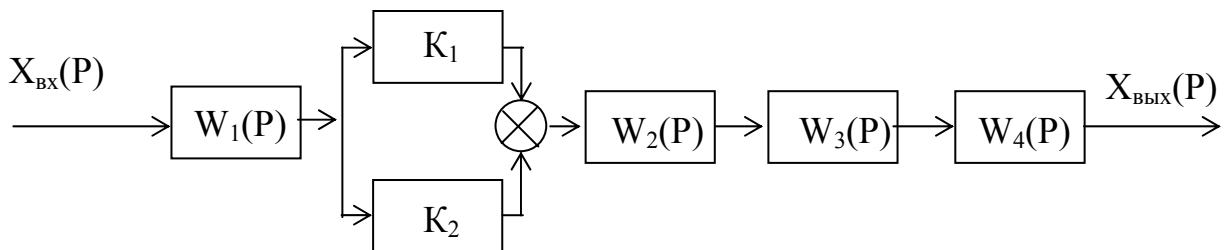
б



в



г



д

а, б, в, г, д – варианты структур

Рисунок 1 - Структурная схема разімкнутої автоматичної системи

Таблиця 1 – Варіант 1

№ п/п	Передагні функції					Передагні коефіцієнти					Постійні часу			
	$W_1(P)$	$W_2(P)$	$W_3(P)$	$W_4(P)$	$W_5(P)$	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	T_1	T_2	T_3	T_4
1.1	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_2}{1+T_2P}$	$\frac{K_3}{1+T_3P}$	$\frac{K_4}{1+T_4P}$	$\frac{K_5}{P}$	10	2	5	0,1	0,0	0,5	0,3	0,1	0,02
1.2	K_1	$\frac{K_2}{1+T_1P}$	$\frac{K_3}{1+T_2P}$	$\frac{K_4}{(1+T_3P)P}$	$\frac{K_5}{1+T_4P}$	2,0	2,5	4	1,0	0,5	0,6	0,5	0,1	0,01
1.3	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_2}{1+T_2P}$	K_3	$\frac{K_4}{1+T_3P}$	$\frac{K_5}{(1+T_4P)P}$	5,0	8,0	0,5	2,0	0,25	0,2	0,3	0,5	0,01
1.4	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	K_2	$\frac{K_3}{1+T_2P}$	$\frac{K_4}{1+T_3P}$	$\frac{K_5}{1+T_4P}$	4,0	2,0	10	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,05
1.5	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_2}{1+T_2P}$	$\frac{K_3}{(1+T_3P)P}$	K_4	$\frac{K_5}{1+T_4P}$	1,2	2,5	4,0	0,2	1,0	0,3	0,2	0,2	0,05
1.6	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_2}{(1+T_2P)P}$	$\frac{K_3}{1+T_3P}$	$\frac{K_4}{1+T_4P}$	$\frac{K_5}{P}$	3,0	2,0	5,0	0,2	0,8	0,5	0,2	0,3	0,02

Таблиця 2 – Варіант 2

№ пп	Передатні функції						Передатні коефіцієнти						Постійні часу		
	$W_1(P)$	$W_2(P)$	$W_3(P)$	$W_4(P)$	$W_5(P)$	$W_6(P)$	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	T_1	T_2	T_3
2.1	$\frac{K_1}{P}$	K_2	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{P}$	1	1	10	2	5	0,1	0,3	0,1	0,02
2.2	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	K_2	$\frac{K_3}{P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{P}$	1	1	2	2,5	4	0,5	0,6	0,5	0,01
2.3	$\frac{K_1}{P}$	K_2	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{P}$	1	1	5	8	0,5	0,1	0,3	0,5	0,01
2.4	$\frac{K_1}{P}$	K_2	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+P}$	1	1	4	2	5	0,25	0,5	0,1	0,04
2.5	$\frac{K_1}{1+P}$	K_2	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{P}$	$\frac{K_6}{1+T_3P}$	1	1	1,2	2,5	4	0,5	0,2	0,2	0,05
2.6	$\frac{K_1}{1+P}$	K_2	$\frac{K_3}{1+P}$	$\frac{K_4}{1+T_1P}$	$\frac{K_5}{1+T_2P}$	$\frac{K_6}{1+T_3P}$	1	1	3	2	5	0,2	0,2	0,3	0,02

Таблиця 3 – Варіант 3

№ п/п	Передатні функції				Передатні коефіцієнти							Постійні часу			
	$W_1(P)$	$W_2(P)$	$W_3(P)$	$W_4(P)$	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	T_1	T_2	T_3	T_4	
3.1	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	5	5	1	0,1	2	1	1,0	0,1	0,2	0,01	
3.2	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	2,5	2,5	10	2	0,01	1	0,5	0,2	0,01	0,2	
3.3	$\frac{K_3}{P}$	$\frac{K_4}{1+T_1P}$	$\frac{K_5}{1+T_2P+T_3P^2}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	3	2	2	1	0,1	10	0,5	0,4	0,01	0,2	
3.4	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{(1+T_2P)P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	6	4	1	10	0,1	10	0,8	0,5	0,1	0,005	
3.5	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P^2}$	2	8	10	0,2	0,5	0,1	0,6	0,5	0,2	0,008	
3.6	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{(1+T_4P)P}$	3	7	0,1	1	0,1	10	0,5	0,4	0,1	0,004	

Таблиця 4 – Варіант 4

№ п/п	Перевідні функції				W _{5(P)}	Перевідні коефіцієнти						Постійні часу			
	W _{1(P)}	W _{2(P)}	W _{3(P)}	W _{4(P)}		W _{6(P)}	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	T ₁	T ₂	T ₃
4.1	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+P}$	10	5,8	0,2	0,2	0,5	10	1	0,1	0,1	0,1	0,02
4.2	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{P}$	2	1,9	0,1	0,5	2	1	5	0,2	0,2	0,1	0,02
4.3	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+P}$	$\frac{K_6}{1+T_3P}$	0,5	2	1	0,1	1,25	4	2,5	0,4	0,4	0,2	0,02
4.4	$\frac{K_3}{P}$	$\frac{K_4}{1+T_1P}$	$\frac{K_5}{1+T_2P}$	$\frac{K_6}{1+T_3P}$	12,5	5	0,2	0,8	1	5	0,8	0,4	0,4	0,15	0,01
4.5	$\frac{K_3}{1+P}$	$\frac{K_4}{1+T_1P}$	$\frac{K_5}{1+T_2P}$	$\frac{K_6}{1+T_3P}$	2	0,5	4	2,5	0,1	2	5	0,4	0,4	0,15	0,01
4.6	$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+P}$	$\frac{K_6}{1+T_3P}$	8	0,25	5	8	0,5	8	1,25	0,5	0,5	0,1	0,01

Таблиця 5 – Варіант 5

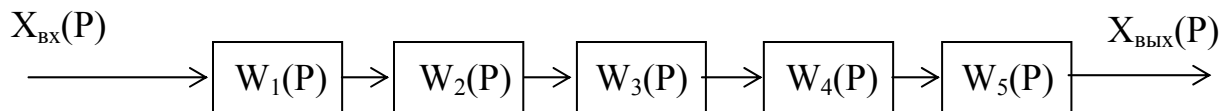
№ лп	Передатні функції			Передатні коефіцієнти						Постійні часу			
	$W_1(P)$	$W_2(P)$	$W_3(P)$	W_4	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	T_1	T_2	T_3	T_4
5.1	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{P(1+T_3P)}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	5,0	5,0	1,0	1,0	10	1,0	0,1	0,5	0,1
5.2	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{(1+T_2P)P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	1,0	1,0	10	1,0	0,1	0,5	0,1	0,5	0,2
5.3	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+P+T_2P^2}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	6,0	4,0	5,0	1,5	1,0	0,5	0,2	0,5	0,05
5.4	$\frac{K_1}{(1+T_1P)P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	2,5	2,5	2,0	10	2,0	0,8	0,1	0,5	0,05
5.5	$\frac{K_1}{1+P}$	$\frac{K_4}{1+T_1P+T_2P^2}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	3,0	7,0	2,0	10	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1
5.6	$\frac{K_1}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{(1+T_4P)P}$	2,5	2,5	5,0	0,5	2,0	0,5	0,4	0,1	0,1

1 ЗАВДАННЯ 1

1.1 Вихідні дані

Структурна схема розімкнутої автоматичної системи за варіантами приведена на рис. 1,*a*, параметри автоматичних систем (коефіцієнти зусилля K , постійні часу T і передатні функції динамічних ланок $W(P)$) зазначені в таблицях 1-5.

Виберемо як приклад структуру розімкнутої автоматичної системи *a* (див. рис. 1,*a*), параметри системи 1.4 (див. табл. 1)



Параметри: $K_1 = 4$; $K_2 = 2$; $K_3 = 10$; $K_4 = 0,5$; $K_5 = 0,5$.

$T_1 = 0,4$; $T_2 = 0,5$; $T_3 = 0,3$; $T_4 = 0,05$.

$W_1(P)$	$W_2(P)$	$W_3(P)$	$W_4(P)$	$W_5(P)$
$\frac{K_1}{1 + T_1 P}$	$\frac{K_2}{1 + T_2 P}$	K_3	$\frac{K_4}{1 + T_3 P}$	$\frac{K_5}{1 + T_4 P}$

1.2 Визначення передатної функції розімкнутої системи

У даній системі динамічні ланки сполучені між собою послідовно, тому передатна функція розімкнутої системи дорівнює добутку передатних функцій окремих динамічних ланок.

$$W(P) = W_1(P) * W_2(P) * W_3(P) * W_4(P) * W_5(P); \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 W(P) &= \frac{K_1}{1+T_1P} * \frac{K_2}{1+T_2P} * K_3 * \frac{K_4}{1+T_3P} * \frac{K_5}{1+T_4P} = \\
 &= \frac{K_1 K_2 K_3 K_4 K_5}{(1+T_1P)(1+T_2P)(1+T_3P)(1+T_4P)}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

1.3 Визначення передатної функції замкнутої системи

Щоб перетворити розімкнуту систему в замкнуту, необхідно застосувати зворотний зв'язок, тобто подати сигнал із виходу системи на її вхід. Тоді передатна функція замкнутої системи при використанні негативного зворотного зв'язку із передатною функцією $W_{oc}(P)=1$ визначиться за такою формулою:

$$\Phi(P) = \frac{W(P)}{1+W(P)*W_{oc}(P)} = \frac{W(P)}{1+W(P)}
 \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi(P) &= \frac{\frac{K_1 K_2 K_3 K_4 K_5}{(1+T_1P)(1+T_2P)(1+T_3P)(1+T_4P)}}{1 + \frac{K_1 K_2 K_3 K_4 K_5}{(1+T_1P)(1+T_2P)(1+T_3P)(1+T_4P)}} = \\
 &= \frac{K_1 K_2 K_3 K_4 K_5}{K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 + (1+T_1P)(1+T_2P)(1+T_3P)(1+T_4P)}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

1.4 Визначення характеристичного полінома (характеристичного рівняння)

Для визначення усталеності автоматичної системи за критерієм Михайлова необхідно виділити з виразу передатної функції замкнутої системи характеристичне рівняння. Для цього необхідно дорівняти до нуля знаменник передатної функції $\Phi(P)$:

$$K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 + (1 + T_1 P)(1 + T_2 P)(1 + T_3 P)(1 + T_4 P) = 0. \quad (5)$$

Перетворимо характеристичне рівняння до виду

$$D(P) = A_4 P^4 + A_3 P^3 + A_2 P^2 + A_1 P + A_0, \quad (6)$$

де $A_0 = 1 + K_1 K_2 K_3 K_4 K_5$;

$$A_1 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4;$$

$$A_2 = T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3 + T_1 T_4 + T_2 T_4 + T_3 T_4;$$

$$A_3 = T_1 T_2 T_3 + T_1 T_2 T_4 + T_1 T_3 T_4 + T_2 T_3 T_4;$$

$$A_4 = T_1 T_2 T_3 T_4.$$

1.5 Приведення характеристичного полінома до частотного виду

$$D(j\omega) = A_4(j\omega)^4 + A_3(j\omega)^3 + A_2(j\omega)^2 + A_1 j\omega + A_0. \quad (7)$$

У комплексному виді

$$D(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega),$$

де $P(\omega) = A_4 \omega^4 - A_2 \omega^2 + A_0$,

$$Q(\omega) = A_1 \omega - A_3 \omega^3.$$

1.6 Визначення стійкості системи відповідно до висновку критерію Михайлова

Складається програма 1 на мові програмування Quick Basic (додаток А) для побудови кривих речовинної $P(\omega)$ і уявної $Q(\omega)$ складових характеристичного полінома $D(j\omega)$ у функції частоти ω , що мають вид, поданий на рис. 2.

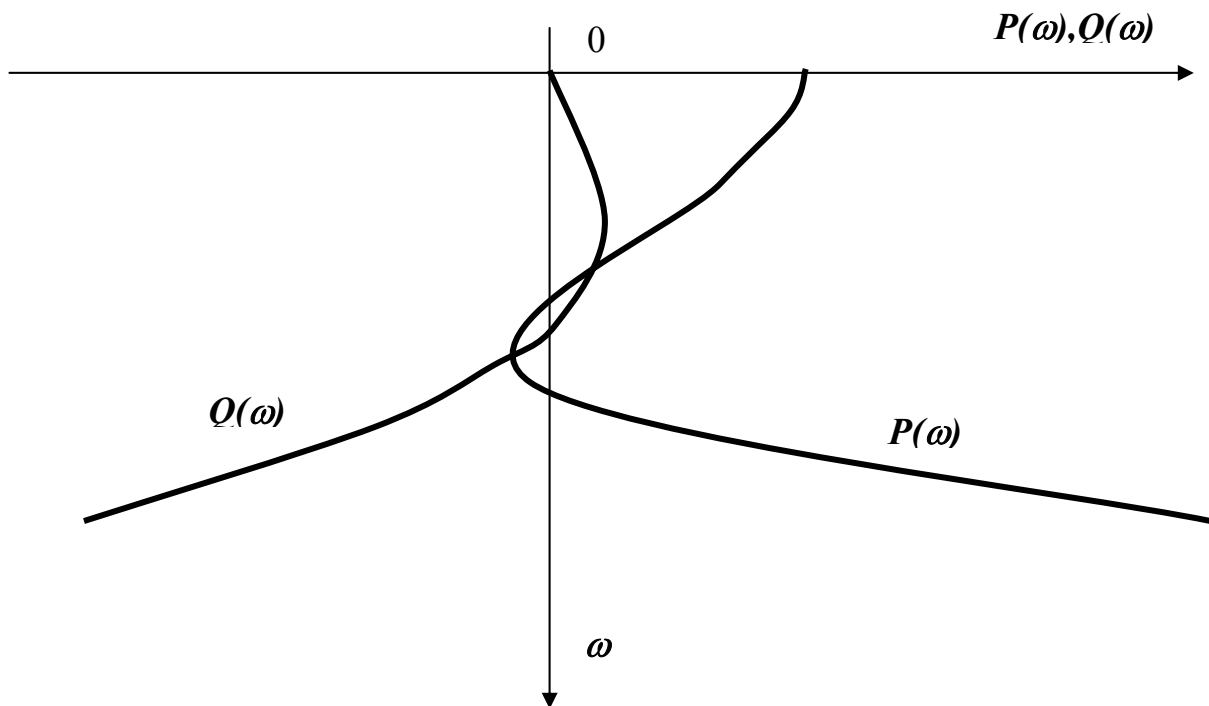


Рисунок 2 - Графіки речовинної і уявної частин характеристичного полінома для варіанта 1.4, схеми 1,а

За характером чергування коренів робиться міркування про стійкість автоматичної системи.

Оскільки корені речовинної і уявної частин рівняння, тобто точки перетинання кривих із віссю частот ω , чергуються по розміру, то, як випливає з висновку критерію Михайлова, ця автоматична система є стійкою.

1.7 Визначення стійкості системи відповідно до критерію Михайлова

Для перевірки правильності міркування про стійкість системи побудуємо відповідно до програми 1 (див. додаток А) криву Михайлова на комплексній площині, що має вид, поданий на рис. 3.

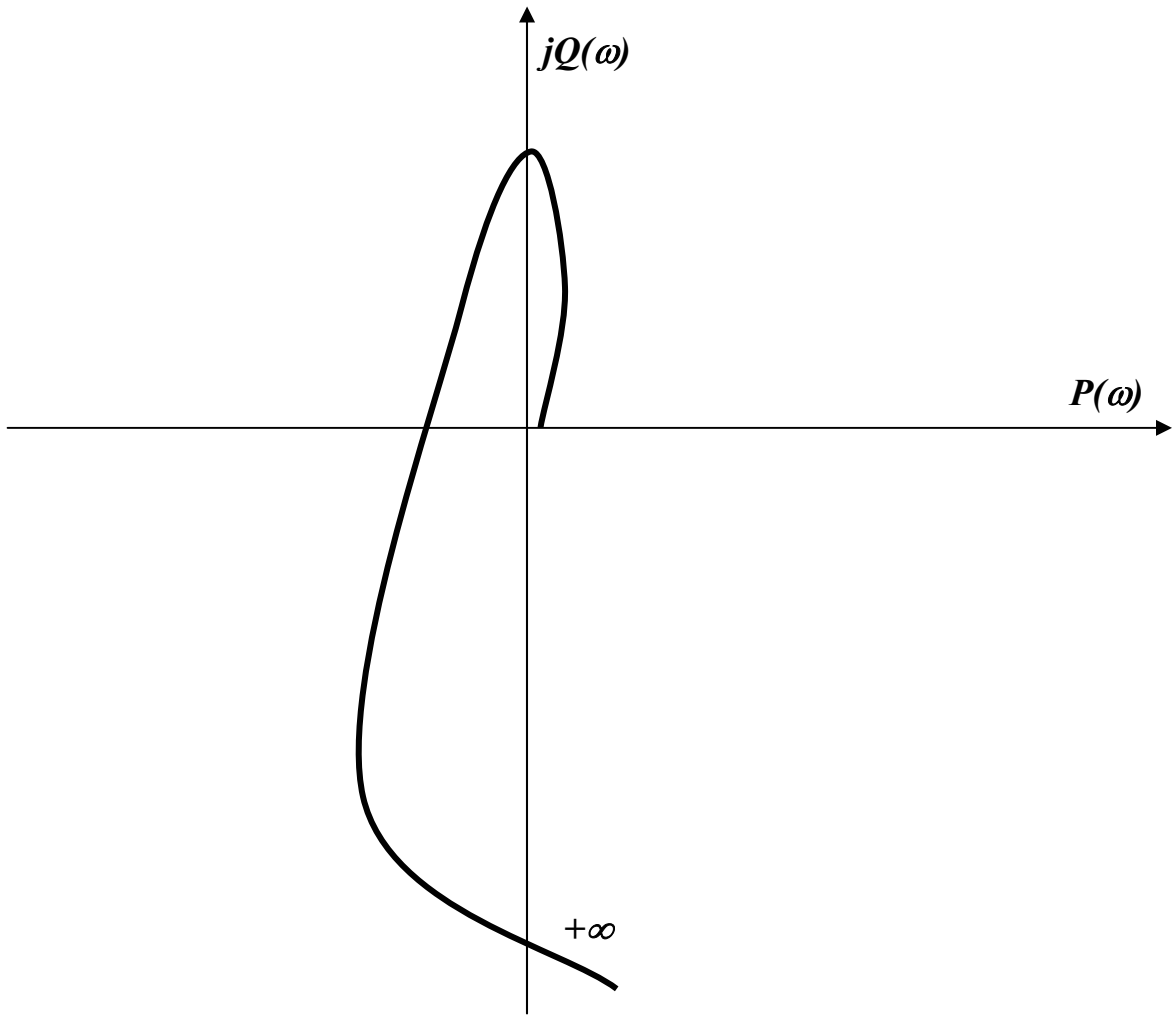


Рисунок 3 - Графік кривої Михайлова на комплексній площині для варіанта 1.4, схеми 1,а

За видом кривої Михайлова визначається стійкість замкненої автоматичної системи.

Для стійкої системи, описаної характеристичним рівнянням четвертого порядку, крива Михайлова повинна починатися на речовинній позитивній напівосі і проходити проти годинної стрілки послідовно чотири квадранти, огибаючи початок координат і йдучи в нескінченність у четвертому квадранті. Крім того, у відповідності до висновків критерію Михайлова корені речовинної і уявної частин характеристичного полінома чергуються по розміру, що підтверджує міркування про стійкість системи.

Для розглянутого варіанта складена Програма 1 для одержання вищевказаних кривих на ЕОМ на мові програмування Quick Basic.

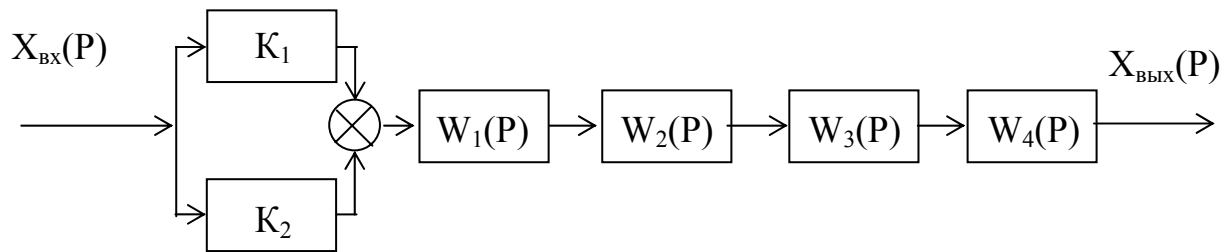
Якщо встановлено по кривій, що автоматична система хитлива, то необхідно, змінюючи параметри автоматичної системи $K_1... K_n$ і $T_1... T_n$, визначити їхнє значення для стійкої системи.

У методичних указівках для визначення стійкості автоматичних систем приведені ще два завдання -2 і 3, яким відповідають структура 1,а і 1,б і варіанти параметрів 3.2 і 2.3, програми 2 (додаток Б) і програми 3.1, 3.2 і 3.3 (додаток В). Для варіанта 2.3 і схеми 1,б крива Михайлова побудована в двох масштабах, щоб переконатися, що вона починається на речовинній осі й іде в нескінченність у п'ятому квадранті, що відповідає характеристичному поліному п'ятого ступеня.

2 ЗАВДАННЯ 2

2.1 Вихідні дані

Вибрати як приклад структуру розімкнутої автоматичної системи (див. рис. 1,а), параметри системи 3.2 (див. табл. 3).



Параметри: $K_1 = 2,5$; $K_2 = 2,5$; $K_3 = 10$; $K_4 = 2$; $K_5 = 0,01$; $K_6 = 1$;
 $T_1 = 0,5$; $T_2 = 0,2$; $T_3 = 0,01$; $T_4 = 0,1$.

$W_1(P)$	$W_2(P)$	$W_3(P)$	$W_4(P)$	$W_5(P)$	$W_6(P)$
$\frac{K_3}{1+T_1P}$	$\frac{K_4}{1+T_2P}$	$\frac{K_5}{1+T_3P}$	$\frac{K_6}{1+T_4P}$	K_1	K_2

2.2 Визначення передатної функції розімкнутої системи

У даній системі дві ланки з передатними функціями K_1 і K_2 сполучені між собою паралельно, інші $W_1(P)$ $W_2(P)$ $W_3(P)$ $W_4(P)$ сполучені між собою послідовно, тому передатна функція розімкнутої системи дорівнює такому виразу:

$$W(P) = \frac{(K_1 + K_2)K_3K_4K_5K_6}{(1+T_1P)(1+T_2P)(1+T_3P)(1+T_4P)}$$

2.3 Визначення передатної функції замкнутої системи

$$\Phi(P) = \frac{W(P)}{1+W(P)W_{o.c}(P)}$$

де $W_{o.c} = 1$.

Тоді передатна функція замкнутої системи має такий вид:

$$\Phi(P) = \frac{(K_1 + K_2)K_3K_4K_5K_6}{(1 + T_1P)(1 + T_2P)(1 + T_3P)(1 + T_4P) + (K_1 + K_2)K_3K_4K_5K_6}.$$

2.4 Визначення характеристичного рівняння

Для визначення характеристичного рівняння знаменник передатної функції замкнутої системи робимо таким, який дорівнює нулю:

$$(1 + T_1P)(1 + T_2P)(1 + T_3P)(1 + T_4P) + (K_1 + K_2)K_3K_4K_5K_6 = 0.$$

Після перетворення одержуємо такий вираз характеристичного рівняння:

$$A_4P^4 + A_3P^3 + A_2P^2 + A_1P + A_0 = 0;$$

де $A_0 = 1 + K_3 K_4 K_5 K_6 (K_1 + K_2)$;

$$A_1 = T_4 + T_3 + T_2 + T_1;$$

$$A_2 = T_3 T_4 + T_2 T_4 + T_2 T_3 + T_1 T_4 + T_1 T_3 + T_1 T_2;$$

$$A_3 = T_2 T_3 T_4 + T_1 T_3 T_4 + T_1 T_2 T_4 + T_1 T_2 T_3;$$

$$A_4 = T_1 T_2 T_3 T_4.$$

2.5 Приведення характеристичного полінома до частотного виду

$$D(j\omega) = A_4(j\omega)^4 + A_3(j\omega)^3 + A_2(j\omega)^2 + A_1j\omega + A_0 = 0.$$

У комплексному виді

$$D(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega),$$

де $P(\omega) = A_4\omega^4 - A_2\omega^2 + A_0$ - речовинна частина;

$$Q(\omega) = A_1\omega - A_3\omega^3$$
 - уявна частина.

2.6 Визначення усталеності системи відповідно до висновку критерію Михайлова

Складено програму 2 (див. додаток Б) для побудови кривої $P(\omega)$ і $Q(\omega)$ складових характеристичного полінома $D(j\omega)$ у функції частоти ω , що мають вид поданий на рис. 4.

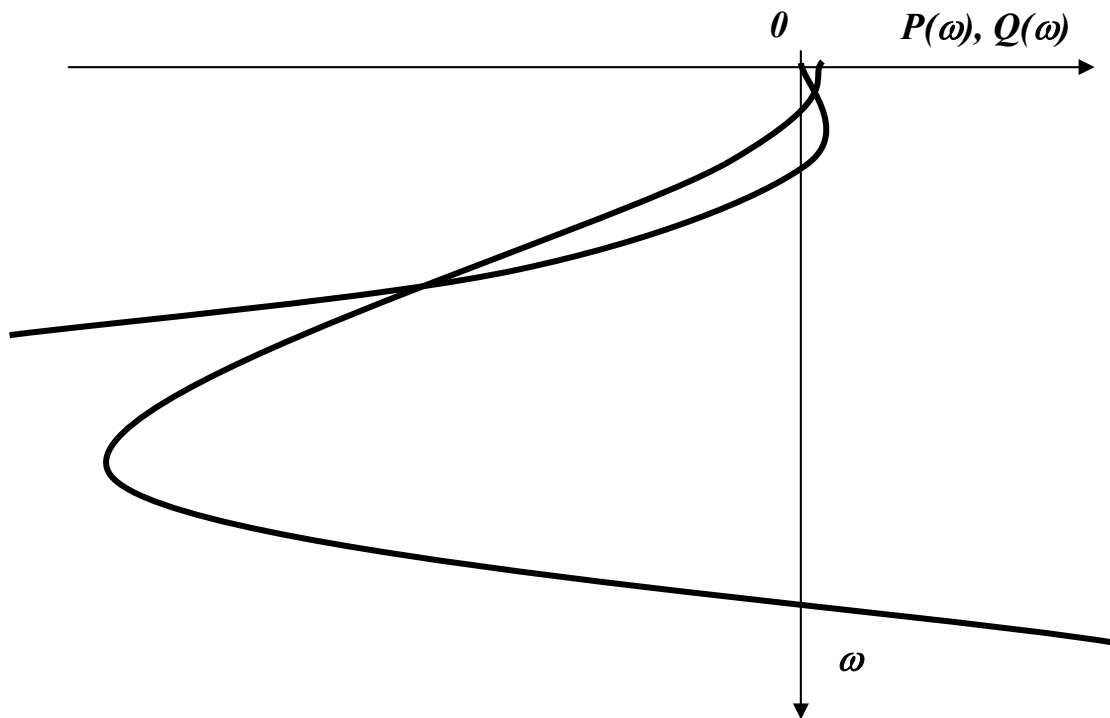


Рисунок 4- Графік реалісної і уявної частин характеристичного полінома для варіанта 3.2, схеми 1,в

2.7 Визначення стійкості автоматичної системи відповідно до критерію Михайлова

Для визначення стійкості за критерієм Михайлова побудуємо відповідно до програми 2 (див. додаток Б) криву Михайлова на комплексній площині, що має вид, приведений на рис. 5.

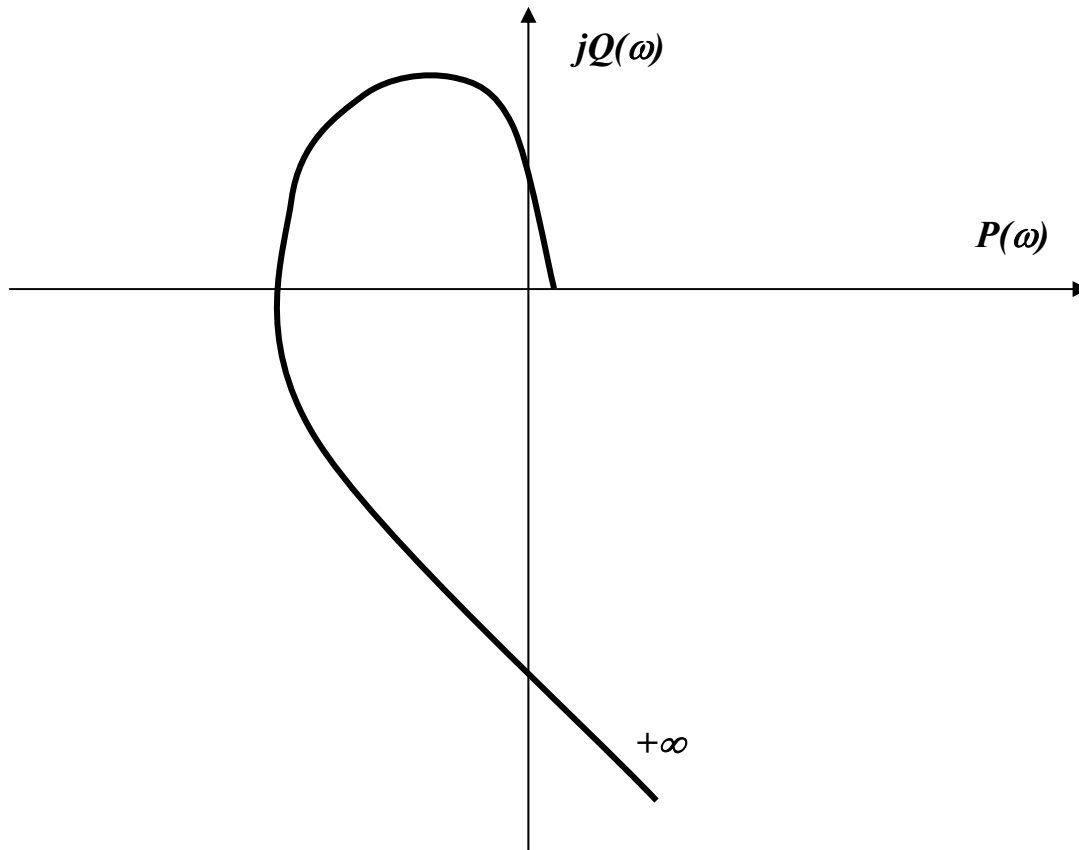


Рисунок 5 - Графік кривої Михайлова на комплексній площині для варіанта 3.2, схеми 1,в

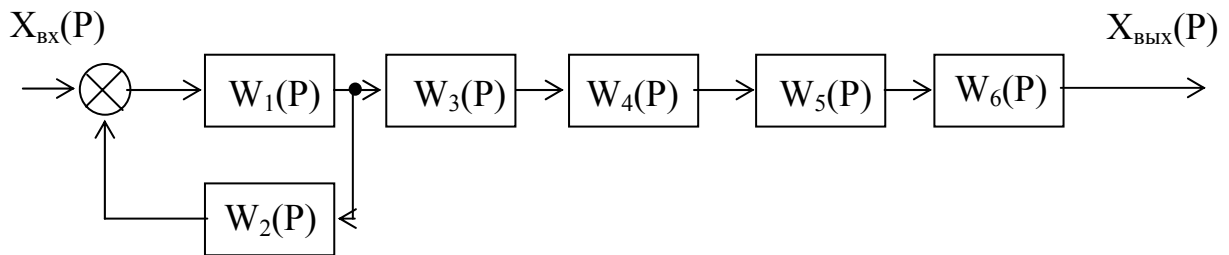
За видом кривої Михайлова визначається стійкість замкнутої автоматичної системи. Система стійка тому, що крива Михайлова починається на речовинній осі, проходить послідовно чотири квадранти й іде в четвертому квадранті у нескінченність, що відповідає характеристичному поліному автоматичної системи маючого ступінь четвертого порядку.

Крім того, у відповідності до висновку критерію Михайлова підтверджується міркування про стійкість системи. **Завдання 2** відрізняється від **Завдання 1** як параметрами автоматичних систем, так і побудовою програм.

3 ЗАВДАННЯ 3

3.1 Вихідні дані

Вибрати як приклад структуру розімкнutoї автоматичної системи (див. рис. 1,б), параметри системи 2.3 (див. таблицю 2).



Параметри: $K_1 = 1$; $K_2 = 1$; $K_3 = 5$; $K_4 = 8$; $K_5 = 0,5$; $K_6 = 0,1$;

$T_1 = 0,3$; $T_2 = 0,5$; $T_3 = 0,01$.

$W_1(P)$	$W_2(P)$	$W_3(P)$	$W_4(P)$	$W_5(P)$	$W_6(P)$
$\frac{K_1}{P}$	K_2	$\frac{K_3}{1 + T_1 P}$	$\frac{K_4}{1 + T_2 P}$	$\frac{K_5}{1 + T_3 P}$	$\frac{K_6}{P}$

3.2 Визначення передатної функції розімкнутої системи

У даній системі дві ланки $W_1(P)$ і $W_2(P)$ включені зустрічно-паралельно між собою, інші $W_3(P)$, $W_4(P)$, $W_5(P)$ і $W_6(P)$ послідовно, тому передатна функція розімкнутої системи дорівнює такому виразу:

$$\begin{aligned} W(P) &= \frac{W_1(P)}{1 + W_1(P) * W_2(P)} W_3(P) W_4(P) W_5(P) W_6(P) = \\ &= \frac{K_1 / P}{1 + \frac{K_1}{P} K_2} * \frac{K_3}{1 + T_1 P} * \frac{K_4}{1 + T_2 P} * \frac{K_5}{1 + T_3 P} * \frac{K_6}{P} = \\ &= \frac{K_1 K_3 K_4 K_5 K_6}{(P + K_1 K_2)(1 + T_1 P)(1 + T_2 P)(1 + T_3 P)P}. \end{aligned}$$

3.3 Визначення передатної функції замкнутої системи

$$\Phi(P) = \frac{W(P)}{1 + W(P)W_{oc}(P)}, \text{ де } W_{oc}(P) = 1.$$

Передатна функція замкнутої системи має такий вид:

$$\Phi(P) = \frac{K_1 K_3 K_4 K_5 K_6}{(P + K_1 K_2)(1 + T_1 P)(1 + T_2 P)P + K_1 K_3 K_4 K_5 K_6}.$$

3.4 Визначення характеристичного рівняння

Для визначення характеристичного рівняння знаменник передатної функції замкнутої системи робимо таким, який дорівнює нулю:

$$(P + K_1 K_2)(1 + T_1 P)(1 + T_2 P)P + K_1 K_3 K_4 K_5 K_6 = 0.$$

Після перетворення одержимо такий вираз характеристичного рівняння:

$$a_0 P^5 + b_0 P^4 + c_0 P^3 + d_0 P^2 + l_0 P + f_0 = 0.$$

3.5 Приведення характеристичного полінома до частотного виду

$$D(j\omega) = a_0 (j\omega)^5 + b_0 (j\omega)^4 + c_0 (j\omega)^3 + d_0 (j\omega)^2 + l_0 j\omega + f_0.$$

де $a_0 = T_1 T_2 T_3;$

$$b_0 = T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3 + K_1 K_2 T_1 T_2 T_3;$$

$$d_0 = 1 + K_1 K_2 T_1 + K_1 K_2 T_2 + K_1 K_2 T_3;$$

$$c_0 = T_1 + T_2 + T_3 + K_1 K_2 T_1 T_2 + K_1 K_2 T_1 T_3 + K_1 K_2 T_2 T_3;$$

$$l_0 = K_1 K_2;$$

$$f_0 = K_1 K_3 K_4 K_5 K_6.$$

У комплексному виді

$$D(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega),$$

де $P(\omega) = b_0 \omega^4 - d_0 \omega^2 + f_0;$

$$Q(\omega) = a_0 \omega^5 - c_0 \omega^3 + l_0 \omega.$$

3.6 Визначення стійкості системи відповідно до висновку критерію Михайлова

Складено програми 3.1, 3.2, 3.3 (додаток В) для побудови кривих $P(\omega)$ і $Q(\omega)$ складових характеристичного полінома $D(j\omega)$ у функції частоти ω , мають вид поданий на рисунку 6.

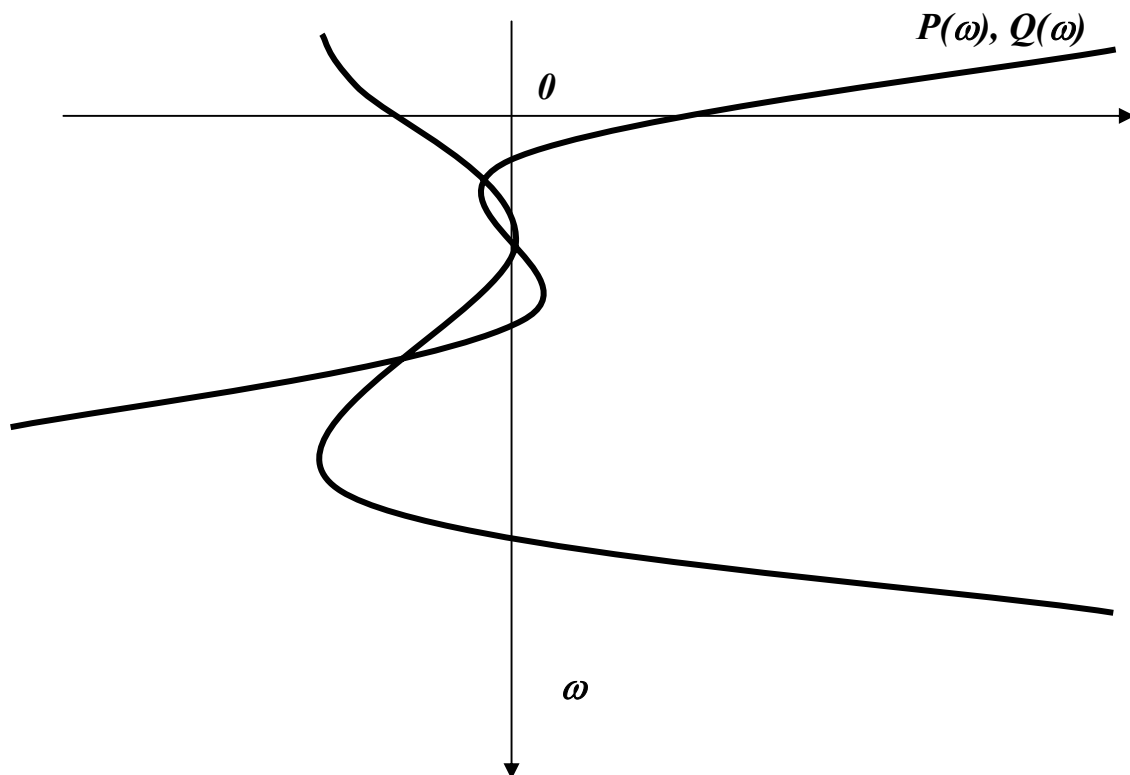


Рисунок 6 - Графік речовинної і уявної частин характеристичного полінома для варіанта 2.3, схеми 1,б

3.7 Визначення стійкості автоматичної системи відповідно до критерію Михайлова

Для визначення стійкості за критерієм Михайлова побудуємо відповідно до програми 3.2 (див. додаток В) криву Михайлова на комплексній площині в більшому масштабі, що має вид, поданий на рис. 7.

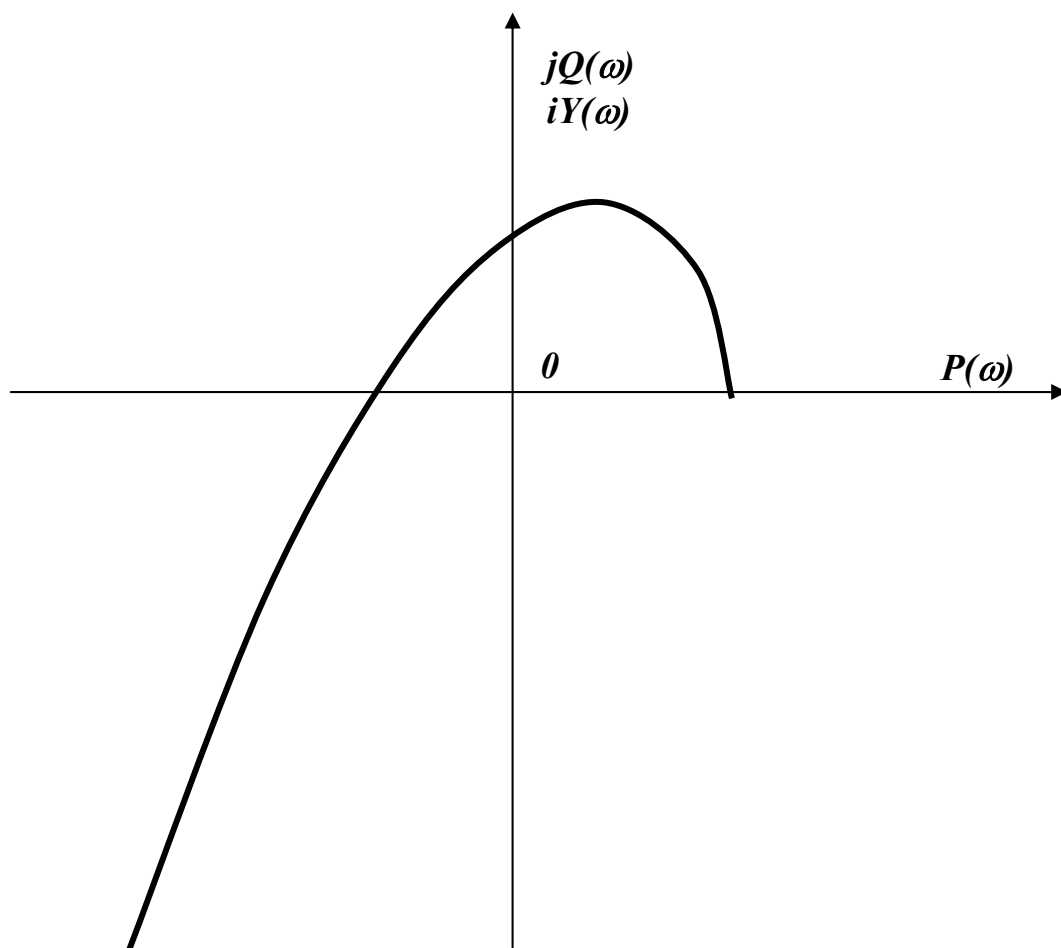


Рисунок 7- Графік кривої Михайлова в більшому масштабі для варіанта 2.3, схеми 1,б

Для того, щоб визначити, в якому квадранті крива Михайлова іде в нескінченність, будемо криву в меншому масштабі (див. рис. 8).

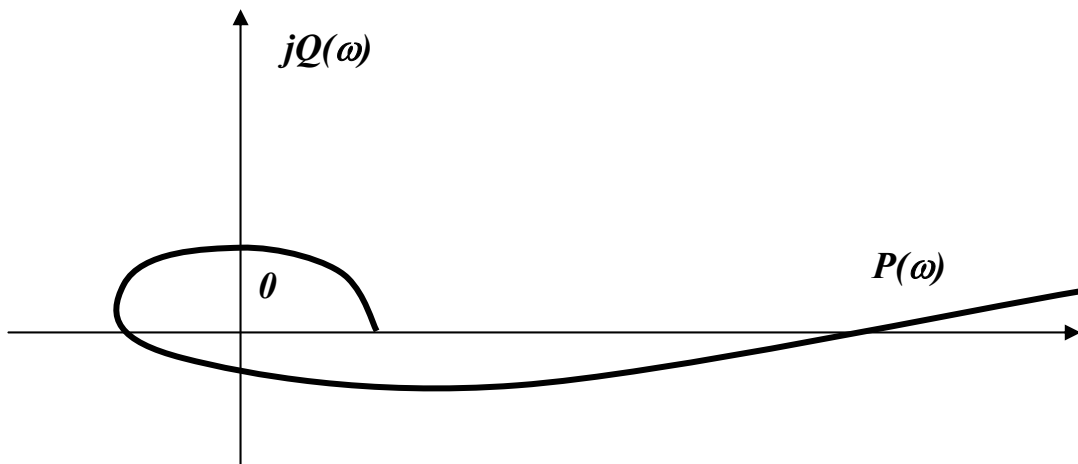


Рисунок 8 - Графік кривої Михайлова для варіанта 2.3, схеми 1,б у меншому масштабі

ДОДАТОК А

Програма 1

```
DECLARE SUB vivod (x!( ), n!)
DECLARE SUB vvod (x!( ), n!)
DECLARE SUB vvod1 (x!( ), n!)
CLS
DIM k(5), b(5), t(4), p(50), q(50)
REM ВВОД ПЕРЕДАТОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ К
DATA 4,2,10,.5, .5
CALL vvod1 (t( ), 5)
rem ввод постоянных времени t
DATA .4,.5,.3,.05
CALL vvod1 (t( ), 4)
REM ВВОД КОЭФ. В
FOR i = 1 TO 5
b (i) = 1
NEXT i
1 : CLS
a (1) = (k(1) * (2) * k(3) * k(4) * k(5) + 1) * b (1 )
a (2) = (t(1) + t(2) + t(3) + t(4)) * b(2)
a (3) = (t(1) * t(2) + t(1) * t(3) + t(2) * t(3) + t(1) * t(4) + t(2) * t(4)
a (4) = (t(1) * t(2) * t(3) + t(1) * t (2) * t(4) + t(1) * t(3) * t(4) + t(2)
a (5) = (t(1) * t(2) *t(3) * t(4) * b(5)
SCREEN 2
LINE (250, 10) - (250, 170)
LINE (30, 20) - (520, 20)
LOCATE 20, 32: PRINT "w"
LOCATE 2, 56: PRINT "p(w), q(w)"
k = 0
```

```

FOR i = 0 TO 15 STEP .5
k = k + 1
p(k) = a(1) - a(3) * (i ^ 2) + a(5) * (i ^ 4)
q(k) = a(2) * i - a(4) * (i ^ 3)
d = p(k) * 5: i = q(k) * 5
PSET (d + 250, i * 5 + 20)
PSET (1 + 250, i * 5 + 20)
NEXT i
LOCATE; 12, 45: PRINT "P(W)"
LOCATE 12, 17: PRINT "Q(w)"
LOCATE: 22, 2
INPUT "ЕСЛИ СИСТЕМА НЕ УСТОЙЧИВАЯ, НАЖМИ 1"; r
IF r <> 1 THEN GOTO 2
PRINT "МЕНЯЕМ КОЭФ. В"
CALL vvod (b( ), 5)
GOTO 1
2 : REM ПОСТРОЕНИЕ СЕТКИ
FOR i = 30 TO 510 STEP 30
LINE (i, 20) - (i, 140)
NEXT i
FOR i 20 TO 140 STEP 40
LINE (30, i) - (510, i)
NEXT i
LOCATE 10, 66
PRINT "КОЭФФИЦИЕНТЫ В"
CALL vivod(b() , 5)
LOCATE 23, 2
INPUT r$
IF r$ <> "." THEN GOTO 3
CLS
FOR i = 1 TO k

```

PSET (q(i) * 2 + 230, p(i) * 2 + 50)

NEXT i

LINE (230, 20) - (230, 150)

LINE (20, 92) - (500, 92)

LOCATE 2, 25: PRINT "P(W)"

LOCATE 12, 47; PRINT "Q(w)"

3 : END

SUB vivod (x!(i, n!)

FOR i = 1 TO n

LOCATE 10 + i, 66

PRINT x(i)

NEXT i

END SUB

SUB vvod (x!(), n!)

FOR i = 1 TO n

INPUT x(i)

NEXT i

PRINT "ВВОД ОКОНЧЕН"

END SUB

SUB vvod (x!(), n!)

FOR i = 1 TO n

READ x(i)

NEXT i

END SUB

ДОДАТОК Б

Програма 2

SCREEN 2

FOR i = 1 TO 6

READ k(i)

NEXT i

DATA 2.5, 2.5, 10, 2...01, 1

FOR i = 1 TO 4

READ t(i)

NEXT i

DATA .5,.2,.01,.1

FOR i = 0 TO 4

b (i) = 1

NEXT i

LINE (20, 0) - (50, 0)

LINE (450, 15) - (450, 150)

FOR i = 50 TO 700 STEP 40

LINE (i, 0) - (i, 140), 1

NEXT i

1 : a0 = ((k(1) + k(2)) * k(3) * k(4) * k(5) * k(6) + 1) * b (0)

a1 = (t(4) + t(3) + t(2) + t(1)) * b(4)

a2 = (t(3) * t(4) + t(1) * t(4) + t(1) * t(3) + t(2) * t(4) + t(2) * t(3))

a3 = (t(1) * t(3) * t(4) + t(2) * t(3) * t(4) + t(1) * t(2) * t(4) + t(1))

a4 = t(1) * t(2) * t(3) * t(4) * b(4)

for w = 0 to 50 STEP .1

P = a0 - a2 ** w ^ 2 + a4 * w ^ 4

q = a1 * w - a3 * w ^ 3

PSET (p * 5 + 450, w * 3)

PSET (q * 5 + 450, w * 3)

NEXT w

LOCATE 19, 55: PRINT "w"

LOCATE 1, 3: PRINT "p,q"

LOCATE 1, 55: PRINT "0"

END

CLS

DIM k(6), b(4), t(4)

$\kappa(1) = 2,5: \kappa(2) = 2,5: \kappa(3) = 10: \kappa(4) = 2: \kappa(5) = .01: \kappa(6) = 1$

$t(1) = .5: t(2) = .2: t(3) = .01: t(4) = .01$

$b(0) = 2: b(1) = 2: b(2) = 2: b(3) = 2: b(4) = 2$

$a(0) = (1 + \kappa(3) * \kappa(4) * \kappa(5) * \kappa(6) * (\kappa(1) + \kappa(2))) * b(0)$

$a(1) = (t(1) + t(2) + t(3) + t(4)) * b(1)$

$a(2) = (t(3) * t(4) + t(2) * t(4)) + t(2) * t(3) + t(1) * t(4) + t(1) * t(3) + t(1) * t(2) * b(2)$

$a(3) = (t(3)*t(2)*t(4) + t(1)*t(3)*t(4) + t(2)*t(1) * t(4) + t(1) *t(2)*t(3) * b(3) + t(1)*t(4)*b(3)$

$a(4) = (t(1) * t(2) * t(3) * t(4)) * b(4)$

SCREEN 2

LOCATE 1: PRINT " - W +"

LOCATE 7: PRINT " P,Q"

LINE (10, 60)-(650, 60)

LINE (310, 10)-(310, 190)

FOR i = 0 TO 10 STEP .02

$p(n) = a(4) * (i ^ 4) - a(2) * (i ^ 2) + a(0)$

$q(n) = -1 * (-a(3) * (i ^ 3) + a(1) * i)$

PSET (p(n) * 10 + 290, q(n) * 10 + 60)

NEXT i

END

ДОДАТОК В

Програма 3.1

CLS

a1 = 30: b1 = 6: c1 = 1.05: d1 = 6: e1 = 5: f1 = 8

k1 = 1: k2 = 1: k3 = 5: k4 = 8: k5 = .5: k6 = .1

t1 = .3: t2 = .5: t3 = .01

a = t1 * t2 * t3 * a1

b = (t1 * t2 + t1 * t3 + t2 * t3 + k1 * k2 * t1 * t2 * t3) * b1

c = (t1 + t2 + t3 + k1 * k2 * (t1 * t2 + t1 * t3 + t2 * t3)) * c1

d = (1 + k1 * k2 * (t1 + t2 + t3)) * d1

e = k1 * k2 * e1

f = k1 * k3 * k4 * k5 * k6 * f1

SCREEN 2

LINE (0, 80)-(500, 80)

LINE (140, 0)-(140, 400)

FOR x = 0 TO 25 STEP .01

y1 = (b*x ^ 4 - d * x ^ 2 + f)

y2 = - (a * x ^ 5 - c * x ^ 3 + e * x)

PSET (y1 * 5 + 141, y2 * 5 + 81)

NEXT x

END

Програма 3.2

CLS

a1 = 1: b1 = 1: c1 = 1: d1 = 1: e1 = 1: f1 = 1

k1 = 1: k2 = 1: k3 = 5: k4 = 8: k5 = .5: k6 = .1

t1 = .3: t2 = .5: t3 = .01

a = t1 * t2 * t3 * a1

b = (t1 * t2 + t1 * t3 + t2 * t3 + k1 * k2 * t1 * t2 * t3) * b1

c = (t1 + t2 + t3 + k1 * k2 * (t1 * t2 + t1 * t3 + t2 * t3)) * c1

d = (1 + k1 * k2 * (t1 + t2 + t3)) * d1

e = k1 * k2 * e1

f = k1 * k3 * k4 * k5 * k6

SCREEN 2

LINE (0, 80)-(500, 80)

LINE (240, 0)-(240, 400)

FOR x = 0 TO 1.5 STEP .001

y1 = (b * x ^ 4 - d * x ^ 2 + f) * 100

y2 = -(a * x ^ 5 - c * x ^ 3 + e * x) * 100

PSET (y1 + 141, y2 + 81)

NEXT x

END

Програма 3.3

CLS

a1 = 1: b1 = 1: c1 = 1: d1 = 1: e1 = 2: f1 = 1

k1 = 1: k2 = 1: k3 = 5: k4 = 8: k5 = .5: K6 = .1

t1 = .3: t2 = .5: t3 = .01

a0 = (t1 * t2 * t3) * a1

b0 = (t1 * t2 + t3 * t4 + t2 * t3 + k1 * k2 * t1 * t2 * t3) * b1

c0 = (t1 + t2 + k1*k2 *t2*t1 + t3 + k1 * k2 * t1* t3 + k1*k2*t2*t3)*c1

do = (1 + k1 * k2 * t1 + k1 * k2 * t2 + k1 * k2 * t3) * d1

e0 = k1 * k2 * e1

f0 = k1 * k2 * k3 * k4 * k5 * k6 * f1

SCREEN 2

LINE (70, 20)-(450, 20)

LINE (310, 20)-(310, 200)

FOR x = -5 TO 5 STEP .025

y1 = b0 * x ^ 4 - d0 * x ^ 2 + f0

y2 = a0 * x ^ 5 - e0 * x ^ 3 + e0 * x

PSET (y2 * 20 + 310, 50 + x * 20)

PSET (y1 * 20 + 270, 50 + x * 20)

NEXT x

END

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Бесекерский Б. А., Попов Е. П., Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. - 650с.
- 2 Зайцев Г. Ф., Костюк В. И., Чинаев П. И., Гринчишин Я. Т., Основы автоматического управления и регулирования. - Киев: Техніка, 1975. - 250с.
- 3 Ефимов В. И., Ломакович А. Н., - Алгоритмы программ на БЕЙСИКе. – М.: Просвещение, 1988. - 160с.
- 4 Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке БЕЙСИК для ПЭВМ. М.: Наука, 1987. - 240с.
- 5 Бесекерский Б. А. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978. - 512с.
- 6 Методические указания к лабораторно-практическим работам по дисциплине "Автоматика и автоматизация производственных процессов". /Сост. Кибирев А.А. - Краматорск: КИИ, 1985. - 15с..

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної роботи
**«ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ АВТОМАТИЧНИХ
СИСТЕМ НА ЕОМ»**
з дисципліни
"Автоматизація ковальсько-пресового виробництва"
(для студентів спеціальності 7. 090206)

Укладач: Володимир Егорович Устінов

Редактор: Наталія Володимирівна Єрєміна

5/2002 Підп. до друку Формат 60/84/16

Офсетний друк. Ум. друк. арк. Обл. –вид. арк.

Тираж 50